

## REOXIDAČNÍ POCHODY PŘI ODLÉVÁNÍ A VZNIK NĚKTERÝCH VAD U ODLITKŮ Z OCELI

A. ZÁDĚRA <sup>1</sup>, J. ŠENBERGER <sup>2</sup>, P. VAVRINEC <sup>3</sup>, P. VESELÝ <sup>4</sup>, T. BŘINČIL <sup>5</sup>

**ABSTRAKT:** Sekundární oxidace ocelí je doprovázena lokálním nebo celkovým zvýšením aktivity a obsahu a kyslíku v oceli. V případě vysoké aktivity kyslíku dochází v některých místech odlitku ke vzniku oxidických vměstků prvků s nižší afinitou ke kyslíku, jako jsou např. Si, Mn a Fe. To může vést až ke vzniku sekundární struskovitosti, která bývá často doprovázena také strusko-plynovými vadami. V případě překročení rovnovážné aktivity kyslíku s uhlíkem může být část, popř. i celý odlitek, postižen bublinami oxidu uhelnatého. Omezení sekundární oxidace oceli vytváří předpoklad pro výrobu vysoce jakostních ocelových odlitků jak z nelegovaných, tak i vysocelegovaných ocelí.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Reoxidace oceli, vady ocelových odlitků, sekundární struskovitost

### 1 ÚVOD

Sekundární oxidací oceli jsou označovány pochody, které jsou spojeny se zvyšováním koncentrace a aktivity kyslíku v oceli po ukončení primární dezoxidace. Sekundární oxidace probíhá jednak během setrvání kovu v pánvi, jednak při vlastním odlévání a plnění dutiny formy. Terciární oxidací nebo také reoxidací je pak označována oxidace v odlitku, kdy je teplota oceli mezi likvidem a solidem. V tomto příspěvku je pod pojmem reoxidační pochod míněna současně jak sekundární, tak i terciární oxidace a také jejich produkty nejsou od sebe odlišovány.

Během odlévání dochází mezi kovem a atmosférou k oxidačně-redukčním reakcím. Produkty těchto reakcí mohou způsobit vznik jak vnějších, tak i vnitřních vad ocelových odlitků a mohou tak ovlivňovat jakost vyráběných odlitků. V rámci spolupráce VUT v Brně a slévárny DSB EURO byla řešena problematika výskytu povrchových vad ocelových odlitků, jejichž výskyt byl přičítán právě reoxidačním pochodům. Zkoumaná vada označovaná ve výrobě jako sekundární struskovitost. Tato vada je podle [1] charakteristická značnou chemickou heterogenitou strusky, formovací směsí, která je poměrně snadno identifikovatelná na neotryskaném odlitku. Charakteristickým je pro sekundární struskovitost rovněž poměrně vysoký podíl oxidů manganu ve strusce. Pro klasifikaci příčiny a mechanismu vzniku této vady byly proto při řešení jejich odstranění využity mikroanalytické metody. S jejich využitím se předpokládala nejen přesná klasifikace vady vyskytující se na zkoumaných odlitcích, ale také pochopení mechanismu, jakým vada vzniká a v jakém místě, případně v jaké fázi plnění dutiny formy. Pouze na základě detailní analýzy je možné provést správná opatření, která povedou k omezení jejího výskytu a umožní se tak vyhnout metodě pokusu a omylu.

### 2 POPIS EXPERIMENTŮ

Zkoumaná vada byla sledována jak u odlitků z nelegovaných ocelí (uhlíkové oceli s obsahem Mn do 1,8 %) a také u jednoho odlitku z oceli legované Cr a Mo typu GS 15CrMo 4. Hmotnost odlitků byla v rozmezí 1 až 7 t. Odlévalo se do forem vyrobených z furanové směsi, opatřených nátěrem

<sup>1</sup> Ing. Antonín Záděra – VUT v Brně, FSI, ÚST, odbor slévárenství

<sup>2</sup> doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc. – VUT v Brně, FSI, ÚST, odbor slévárenství

<sup>3</sup> Ing. Pavel Vavřinec – Slévárna DSB EURO, s. r. o., Blansko

<sup>4</sup> Ing. Pavel Veselý – Slévárna DSB EURO, s. r. o., Blansko

<sup>5</sup> Ing. Tomáš Břinčil – Slévárna ČKD Kutná hora

na bázi křemičitanu zirkoničitého ( $\text{ZrSiO}_4$  cca 44,9 hmot. %) a korundu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – zbytek). Vtoková soustava byla u všech odlitků vyrobena z šamotových trubek.

Produkty reoxidace byly odebrány jednak z hladiny kovu během plnění dutiny formy a jednak z vad nalezených na odlitcích během čistírenského zpracování. První skupinu analyzovaných vzorků tvoří struska, která byla odebrána v průběhu odlévání z hladiny kovu ve formě. Druhou skupinu analyzovaných vzorků tvořily částice strusky obklopené kovem a vyřezané z odlitku označované v průběhu řešení jako zadrobeniny. Celkově bylo analyzováno 9 vzorků strusky a 3 vzorky zadrobenin získaných vyříznutím z odlitku. Současně s analýzou vad z odlitku a odebraných strusek byly odebrány a analyzovány také vzorky lícni vrstvy formy přilnuté k materiálu odlitku. Jako standard pro porovnání přilnavosti nátěru k formovací směsi a skutečných vzorků lícni vrstvy odebrané z odlitku byly zhotoveny vzorky z nátěru odloupnuté z furanové formovací směsi vyžíhané na teplotu 1 000 °C (po dobu cca 3 h). Odlupování nátěru bylo sledováno na základě porovnání chemického složení nátěru a vnitřní vrstvy nátěru obsahující ostřívo se skutečnými vzorky odebranými z odlitku. Předpokládalo se, že dobře provedený nátěr se bude odlupovat i s částí formy a v ideálním případě bude tvořen z vnitřní strany výhradně formovací směsí, v našem případě oxidem křemíku  $\text{SiO}_2$ . Naopak zcela špatně provedený nebo nevhodný nátěr nebude na sebe vázat žádnou formovací směs a jeho složení bude z vnitřní strany (od formy) v mezním případě stejné jak u vnější (lícni) vrstvy.

### 3 POUŽITÉ EXPERIMENTÁLNÍ METODY A NAMĚŘENÉ HODNOTY

#### 3.1 ANALÝZA STRUSEK

Vzorky strusek byly pomlety a následně zkoumány RTG analýzou na RTG difraktometru Philips X-Pert, kde bylo stanoveno mineralogické složení jednotlivých částic strusky (vzorek 1 a 2) a odhadnuta přítomnost sklovité fáze viz **tab. 1**.

**Tab. 1.** Fázové složení strusek odebraných z hladiny kovu během odlévání

Popis analýzy			fázové složení strusky [hmot. %]				
č. vzorku	značka materiálu	tavba č.	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Fe	$\text{ZrO}_2$	$\text{ZrSiO}_4$
1	A216-WCB	2/4987	43,88	46,77	9,34	–	–
2	GS20Mn5	2/5166	–	80,98	–	8,50	10,52

U dalších vzorků strusek odebraných z formy při odlévání (5–8, 10, 11 a 15) bylo stanoveno plošnou analýzou na rastrovacím elektronovém mikroskopu Philips XL 30 – EDAX (REM) průměrné chemické složení strusek, které je uvedeno v **tab. 2**. V posledním řádku **tab. 2** je současně uvedeno chemické složení používaného nátěru formy.

**Tab. 2.** Chemické složení strusek odebraných z hladiny kovu během odlévání

Popis analýzy		chemické složení vzorku [at. %]											
č. vzorku	značka	O	Al	Si	Zr	Ca	Cr	Mn	Fe	Mg	Ti	Al/Si	Mn/Fe
5	20Mn5	59,0	18,0	10,8	4,8	0,0		3,5	2,8			1,67	1,3
6	20Mn5	61	14,5	10,8	2,5	0,5		4,5	3,9	0,5	1,7	1,34	1,2
7	20Mn5	57	15,2	14,8	2,5	0,5	0,5	5	2,7	0,6	0,2	1,03	1,9
8	20Mn5	58,5	13	9,5	2,2	0,7	0,6	8,5	4,6	0,8	1,3	1,37	1,8
10	15CrMo4	49,5	8,0	0,7			22,0		11,8	7,3	0,3		
11	LCC	58,5	16,1	12,6	3,4	0,6		4,8	2,5	0,7	0,1	1,28	1,9
15	20Mn5	60,4	16,2	16,3	1,4	0,4		2,7	2,1			0,99	1,3
složení nátěru		60	23	9	6,1					0,9	1,0	2,56	



V **tab. 3** jsou uvedeny průměrné hodnoty z naměřených hodnot chemického složení strusek uvedených v **tab. 2**. Průměrný obsah chromu uvedený v **tab. 3** je ovlivněn vyšším obsahem chromu v legované značce oceli vzorku č. 10.

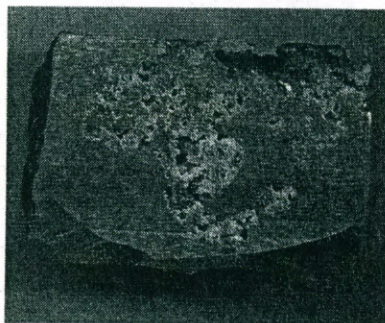
**Tab. 3.** Základní statistické charakteristiky chemického složení souboru vzorků v at. % odebraných z hladiny kovu v průběhu lití

n = 10	O	Al	Si	Zr	Ca	Cr	Mn	Fe	Mg	Ti	Mn/Fe	Al/Si
X	58,1	14,3	11,6	2,9	0,5	7,1	5,5	3,8	1,5	0,6	1,7	1,2
s	3,28	3,12	4,48	1,1	0,2	10	2,7	2,9	2,3	0,7	0,988	0,3
Xmin.	49,5	8,0	0,7	1,4	0,0	0,5	2,7	2,1	0,5	0,1	0,0	0,6
Xmax.	61,0	18,0	16,3	4,8	0,7	22,0	11,4	11,8	7,3	1,7	3,9	1,7

### 3.2 ANALÝZA ZADROBENIN

Analýza byla prováděna na zadrobeninách odebraných ze vzorků č. 3, 9 a 19. Vzorky byly připraveny na laboratorní pile a povrch vzorku byl upraven broušením na „magnetce“. Analýza zadrobenin byla provedena na rastrovacím elektronovém mikroskopu Philips XL 30 – EDAX (REM). Složení analyzovaných fází s barevným rozlišením jednotlivých fází v zadrobenině 3 je uvedeno v **tab. 4**, kde je uvedena koncentrace jednotlivých částic v atomových procentech. Vzhled zadrobeniny – vzorku 3 – je zobrazen na **obr. 1**. Z **tab. 4** vyplývá, že hmotná výplň – struska – obsahuje 9 různých fází s proměnlivým chemickým složením. Obdobné výsledky, tj. značnou chemickou a fázovou heterogenitu, byly zjištěny i u ostatních analyzovaných vzorků 9 a 19 (**tab. 5 a 6**).

**Obr. 1.** Vzhled vzorku č. 3



**Tab. 4.** Složení analyzovaných fází zadrobeniny – vzorku 3

Popis analýzy		prvek							
místo	poznámka	O	Al	Si	Zr	Mn	Fe	Al/Si	Mn/Fe
1	nejtmavější fáze	63		35					
2	šedá fáze	54	12	25	0,5	6	0,9	0,47	6,56
3	drobné krystalky*	56	2,7	8,4	30,9	2	0,6	0,32	2,50
4	světlá fáze	59	0,9	18	21,7	1	–	0,05	–
5	bílá fáze**	51	1,6	2,3	1,0	–	44	0,70	0,00
	obr. 2, místo 2	38	9	15	0,5	2	35	0,58	0,07
	obr. 2, místo 3	61	9	21	0,4	4	5,4	0,43	0,69
1	vměstek ve strusce	58,3	1,7	4,6	0,4	5	34	0,38	0,13
1	struska mezi kovem	54	22	12	4,7	2	4,3	1,79	0,51

\* Drobné krystalky byly poměrně vzácné, obsahují vysoký podíl zirkonia.

\*\* Oxidy FeO na výbrusu měly protáhlý tvar orientovaný jedním směrem a nelze vyloučit, že se jedná o fázi vzniklou při broušení vzorku.



Barvy v **tab. 4** jsou uvedeny tak, jak se jevíly na obrazovce elektronového rastrovacího mikroskopu. Ve vzorku č. 9 byl analyzován jak materiál zadrobeniny, tak i vměstky ve vrstvě oceli sousedící se zadrobeninou (**tab. 5**).

**Tab. 5.** Složení analyzovaných fází [at. %], zadrobeniny – vzorek č. 9

Popis analýzy		prvek								
místo	poznámka	O	Al	Si	Zr	Cr	Mn	Fe	Al/Si	Mn/Fe
1	korálky krystalů	65,9	–	–	31,8	–	–	3,2	–	0,00
2	tmavá fáze	48,8	21,2	–	–	–	0,5	19	–	0,03
3	základní materiál	36,3	1,4	–	–	–	–	62	–	0,00
1	tmavá fáze	53,8	–	16,5	–	–	2,5	28	–	0,09
1	kul. vměstek v oceli	55,5	4,0	20,4	–	–	16,8	3,4	0,20	4,94
2	kul. vměstek v oceli*	51,2	16,8	11,7	–	1,6	7,3	16	9,88	0,46

\* Vměstek obsahoval navíc 5,6 at. % Ti.

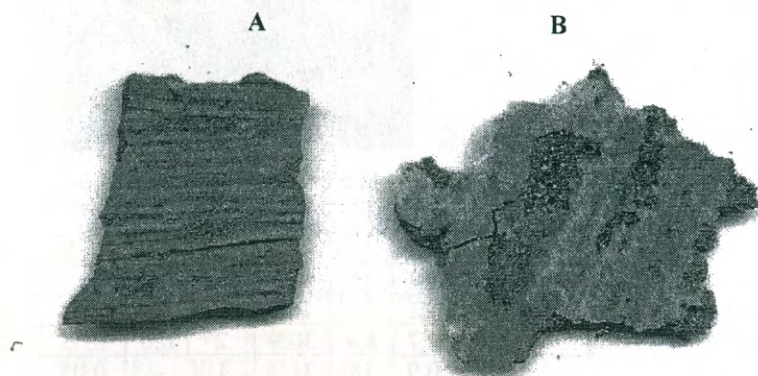
Podobně jako u předchozího vzorku byla zadrobenina analyzována na elektronovém mikroskopu Philips XL 30 – EDAX. V zadrobenině byly odlišeny tři barevně rozdílné fáze. Výsledky analýzy vzorku 19 jsou uvedeny v **tab. 6**.

**Tab. 6.** Složení analyzovaných fází [at. %] v zadrobenině – vzorek č. 19

Popis analýzy		Prvek									
místo	poznámka	O	Al	Si	Zr	Ca	Mn	Fe	Ti	Al/Si	Mn/Fe
1	světlé místo	56,7	12,7	1,3	9,6	–	4,7	1,1	13,0	9,8	4,3
2	bílé krystalky	54,5	43,5	–	–	–	–	–	1,5	–	–
3	tmavé místo	56,8	10,8	19,3	–	2,5	8,1	–	–	0,6	–

### 3.3 ANALÝZA LÍCNÍCH VRSTEV FORMY

Vzorky na analýzu lícni vrstvy formy byly odebrány z odlitku ventilu o hmotnosti několika tun. Jeden vzorek s označením A byl odebrán ze spodku formy blízko vtoku, další vzorky B a C byly odebrány z vršku formy. Vzorky A a B jsou znázorněny na **obr. 2**.



**Obr. 2.** Vzorky lícni strany formy odebrané z odlitku

Cílem analýzy lícni vrstvy bylo zjistit, zda má povrch formy (lícni vrstva) po odlití složení odpovídající použitému nátěru, nebo zda dochází k odlupování nátěru v průběhu lití a plnění dutiny formy. U vzorku B je zřejmé, že povrch formy byl narušen a že na lícni vrstvě formy se nacházejí prohlubně, které mohly být způsobeny úbytkem nátěru i formovacího materiálu.



### 3.3.1 VZOREK A

Vzorek A pochází z nejvíce tepelně exponované části formy (líc formy před vtokem). Na vzorku A je patrná rovná šedá plocha. Při 25násobném zvětšení však již bylo zřejmé, že okem patrná hladká plocha se ve skutečnosti sestává ze zrn formovacího materiálu. Plošná analýza vzorku A byla provedena na rastrovacím elektronovém mikroskopu Philips XL 30 – EDAX (REM) a je uvedena v **tab. 7**.

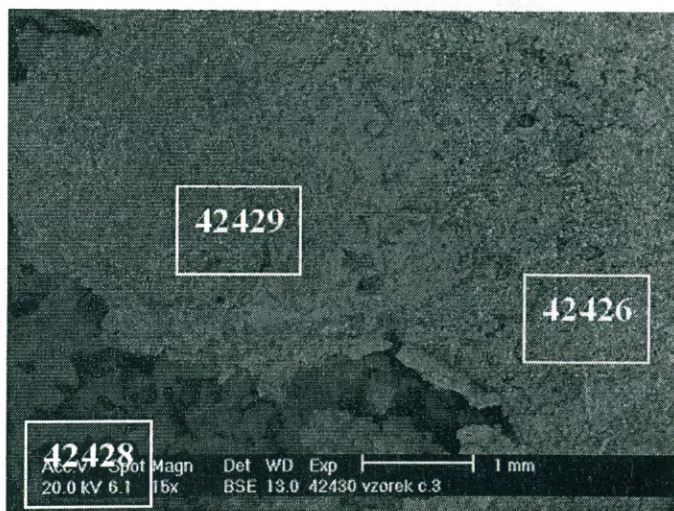
**Tab. 7.** Analýza povrchu vzorku A

Místo	chemické složení analyzovaných částic [at. %]							
	O	Mg	Al	Si	Zr	Mn	Fe	Cr
plocha	51,15	2,13	7,47	15,70	1,43	2,05	17,16	2,91

Plošná analýza vzorku A ukazuje značný obsah železa a také významný obsah chromu a manganu. Naproti tomu je na vzorku analyzován nižší obsah zirkonia.

### 3.3.2 VZOREK B

Povrch vzorku B byl šedý a hladký s tmavými prohlubněmi. Nejprve byla analyzována hladká šedá vrstva. Na **obr. 3** je při 15násobném zvětšení znázorněna struktura hladké šedé vrstvy. V levém dolním okraji snímku se nachází prohlubeň (tmavá nezaostřená plocha). Na snímku na **obr. 3** jsou uvedena místa, na kterých byla provedena plošná analýza na elektronovém mikroskopu Philips XL 30 – EDAX (REM), **tab. 8**.



**Obr. 3.** Analyzovaná místa hladké plochy

**Tab. 8:** Analýza povrchu vzorku B

Plocha	chemické složení analyzovaných ploch [at. %]							
	O	S	Al	Si	Zr	Mn	Fe	Cr
42426	50,30		22,43	12,48	8,09	2,49	4,22	
42428	50,95		3,97	23,82	1,41	1,21	18,10	
42429	47,10	2,13	9,92	4,06	2,98	0,59	31,89	1,32

Na hladké šedé ploše odpovídající snímku 42426 byly analyzovány jednotlivé fáze. Místa bodové analýzy, plochy ze snímku 42426, je uvedeno v **tab. 9**.

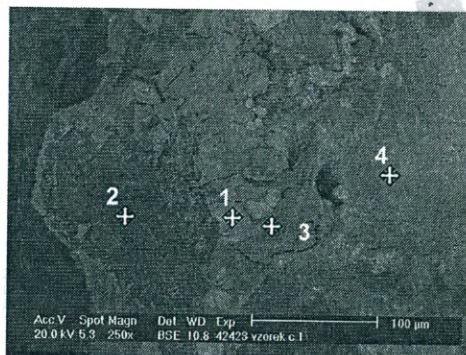


**Tab. 9:** Analýza vybraných fází ve vzorku B

Místo č.	chemické složení analyzovaných částic [at. %]							
	O	S	Al	Si	Zr	Mn	Fe	Cr
1	48,78			51,22				
2	53,35			23,43	23,22			
3	57,84		9,02	3,95	29,19			
4	40,30	5,15	3,96	4,34	1,34		49,24	
5	23,81		15,30	29,95		22,15	8,79	

### 3.3.3 VZOREK C

Vzorek C měl hrubozrnný povrch tmavé barvy. Na povrchu vzorku byla rozlišena 4 místa uvedená na obr. 4.

**Obr. 4.** Vzorek C, analyzovaná místa

Výsledky bodové mikroanalýzy míst vzorku C označených na obr. 4 jsou uvedeny v tab. 10. Na vzorku C byla dále provedena 2× plošná analýza na ploše cca 0,35 × 0,27 mm. Výsledky plošné analýzy jsou také uvedeny v tab. 10. Plošná analýza ukazuje dominantní přítomnost FeO na zkoumané ploše.

**Tab. 10:** Analýza povrchu vzorku C

Místo č.	chemické složení analyzovaných částic [at. %]							
	O	Mg	Al	Si	Zr	Mn	Fe	Na
1	64,6	0,79	2,80	18,04	2,01	1,16	10,6	
2	67,55			32,45				
3	59,38	1,15	2,99	20,78	0,77	1,39	13,54	
4	47,37	2,10	8,61	14,55		1,06	26,3	
plocha	46,39		2,62	5,02		0,82	41,59	3,56
plocha	42,09		1,82	3,59		0,92	48,88	2,69

### 3.3.4 ANALYZOVANÉ VRSTVY NÁTĚRU

Cílem analýzy bylo provést měření, která by charakterizovala a popsala, jakým způsobem dochází k odlupování nátěru na formě zhotovené z furanové směsi. Výsledky tohoto experimentu slouží současně jako standard pro posouzení toho, zda dochází k odlupování nátěru v průběhu plnění dutiny formy. Na odebraných vzorcích nátěru bylo provedeno zvodivění povrchu a provedeno měření na mikroanalytickém komplexu Philips XL 32 – EDAX. Měření bylo provedeno u dvou vzorků

nátěru zhotovených po 1 (vzorek A) a 4 hod. (vzorek B) po ztuhnutí formovací směsí. U každého ze vzorků byla vždy provedena analýza hladké (lícni) strany nátěru a druhé – hrubé strany, která byla v kontaktu s formovací směsí (tab. 11).

**Tab. 11: Analýza nátěru**

Vzorek	strana	chemické složení analyzovaných částic [at. %]			
		O	Al	Si	Zr
A	hladká	56,70	23,73	10,82	8,75
A	druhá	60,20	10,99	23,85	4,96
B	hladká	56,36	23,36	11,64	8,64
B	druhá	60,70	6,97	28,84	3,49

## 4 SHRUTÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

### 4.1 VYHODNOCENÍ ANALÝZY STRUSEK

Vzorky odebrané na hladině formy mohou charakterizovat jevy ve vtokové soustavě a v prvních fázích plnění dutiny formy. Z tab. 1 je zřejmé, že struska vzorku č. 1 je tvořena oxidy hliníku a křemíku. Naopak vzorek č. 2 je tvořen jednak z velké části oxidem  $Al_2O_3$  a dále významným podílem oxidů zirkonia pocházejícího nejpravděpodobněji z nátěru formy.

Vzorek č. 10, uvedený v tab. 2, odebraný z tavby značky GS 15CrMo 4 má anomální složení. Všechny ostatní vzorky obsahují 1,4 až 4,8 at. % Zr, 9,5 až 16,3 at. % Si a 8 až 18 at. % Al. Vzorky dále obsahují 2,7 až 11,4 at. % Mn a 1,2 až 3,9 at. % Fe. Přítomnost Zr ve strusce lze vysvětlit tím, že se na tvorbě strusky podílel významně i nátěr. Přítomnost Mn a Fe ve strusce svědčí o průběhu reoxidačních pochodů. S výjimkou taveb legovaných Cr obsahují strusky, měřeno v hmot. %, stejně nebo více Al než Si. Jak vyplývá i z průměrných hodnot uvedených v tab. 3 činil průměrný podíl obsahu hliníku ke křemíku v at. % cca 1,2.

### 4.2 VYHODNOCENÍ ANALÝZY ZADROBENIN

U vzorků odebraných z hladiny kovu během odlévání bylo určeno pouze průměrné složení strusky, které je důležité pro posouzení jejího původu. Analýza jednotlivých fází v zadrobenině může napovědět k mechanismu vzniku zadrobeniny (strusky).

Při zvětšení cca 100× byly v zadrobenině č. 3 zjištěny barevně odlišitelné fáze. Velká plocha umožnila provést fázovou analýzu. Při analýze bylo v jednotlivých identifikovaných fázích zjištěno železo v podstatě od 0 do 44 at. % odpovídající téměř čistému oxidu FeO. V jednotlivých vměstcích strusky byl zjištěn i výskyt manganu a křemíku. Při analýze kovu sousedícího se zadrobeninou byly v pásu širokém cca 100  $\mu m$  zjištěny četné vměstky obsahující zejména Al a Si. Mikroanalýza jednotlivých částí strusky a okolního kovu potvrzují průběh sekundární oxidace.

Při analýze zadrobeniny 9 bylo kromě místně se vyskytujících korálků oxidu Zr zjištěn ve všech fázích vysoký obsah oxidů Fe. Žádná z analyzovaných fází se svým složením nepřibližovala ani složení nátěru formy, ani použitého formovacího materiálu. V oceli v pásu kolem zadrobeniny se nacházely kulovité vměstky obsahující oxidy v podstatě všech prvků Fe, Mn, Si a Al. To, že se na oxidických vměstcích podílí i slabá dezoxidovadla (Mn) a samotné železo, svědčí o poklesu koncentrace v oceli rozpuštěného hliníku v bezprostředním okolí analyzované zadrobeniny.

V zadrobenině č. 19 obsahovaly všechny fáze hliník a s výjimkou tmavé fáze, a současně i nízkou koncentraci křemíku. Světlá fáze obsahovala 13 at. % Ti a 9,6 at. % Zr. Tmavá fáze obsahovala 19,3 % Si a 10,8 % Al. Bílé krystalky odpovídají svým chemickým složením téměř čistému  $Al_2O_3$ .



### 4.3 VYHODNOCENÍ LÍCNÍCH VRSTEV FORMY

Byly analyzovány tři vzorky formovacího materiálu, které měly odpovídat líci formy. Předpokládalo se, že na vzorcích je vrstva nátěru silná několik desetin mm složená ze  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Odebrané lícní vrstvy formy se lišily jak barvou, tak i hladkostí povrchu. Velká analyzovaná zrna měla vysoký obsah  $\text{SiO}_2$  a na lomových plochách zrn se nacházel téměř čistý oxid křemičitý. Na plošných analýzách se nacházel vyšší obsah oxidů železa. Až na výjimky nebyly v povrchových vrstvách nalezeny krystaly zirkonu.

Porovnáním výsledků z hladké strany a plošné analýzy vzorku B (plocha 42426) je zřejmá velice dobrá shoda. Rozdíly jsou pouze v menším podílu Fe a Mn na ploše. To je dáno přítomností tekutého kovu u reálného vzorku. Lze říci, že na analyzované ploše reálného vzorku se nachází vrstva nátěru, která reakcí s kovem obsahuje pouze menší množství Fe a Mn.

Porovnání výsledků ze vzorku A (nejvíce exponované místo blízko vtoku) jsou podobné s výsledky z druhé (hrubé) strany, což nasvědčuje tomu, že se na vzorku buď odloupala část nátěru nebo tato část zůstala na odlitku. Podíl železa, chromu a manganu je dán reakcí s taveninou u reálného odlitku.

Výsledky získané ze vzorku C pak odpovídají v podstatě téměř čistému FeO pouze s malým podílem Al a Si. V tomto případě lze říci, že na tomto vzorku již složení vůbec neodpovídá ani hladké, ani druhé straně získané z laboratorních měření. Zde se jedná již o oxidický film FeO vzniklý na povrchu lícní vrstvy formy.

### 5 ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ

- Značná heterogenita a chemické složení analyzovaných vzorků strusek a zadrobenin ukazuje na původ zkoumaných vad v sekundární oxidaci ocelí.
- Průběh reoxidačních pochodů byl potvrzen také při analýze oxidických vměstků v kovu v bezprostředním okolí zkoumaných vad. Na těchto vměstcích se podílely prvky s nižší dezoxidační schopností, jako Si, Mn a také Fe.
- U většiny vzorků bylo při analýze ve vzorcích strusek a zadrobenin nalezeno zirkonium. Vzhledem k tomu, že se Zr v průběhu výroby do kovu nepřidávalo, lze hledat příčinu jeho výskytu v analyzovaných vzorcích v odlupování nátěru formy.
- U větších odlitků docházelo ke koagulaci produktů reoxidace a v odlitcích se vytvářely rozsáhlé zadrobeniny. Uvnitř zadrobenin se nacházely také oxidy železa.

Na základě provedených analýz byla detailně popsána vada vznikající na odlitcích z nelegovaných a legovaných ocelí. Vzniklá vada přesně odpovídala definici vady podle [1] jako sekundární struskovitost. Při analýze se zjistilo, že se na struskovitosti podílel i nátěr formy. V současnosti se tedy řeší v provozních podmínkách možná záměna nátěru a technologie jeho provedení. Souběžně s tím se řeší také otázka filtrace taveniny.

*Práce byla realizována za finanční podpory Grantové agentury České republiky v rámci projektu reg. číslo 106/05/0446.*

### LITERATURA:

- [1] ELBEL, T. a kol.: Vady odlitků ze slitin železa. 1. vyd. Brno : MATECS, 1992.
- [2] LEVÍČEK, P., STRÁNSKÝ, K.: Metalurgické vady ocelových odlitků. 1. vyd. Praha : SNTL, 1984.
- [3] ŠENBERGER, J., ZÁDĚRA, A.: Vyhodnocení souboru analýz produktů sekundární oxidace odebraných z odlitků v DSB EURO, Blansko, průběžná zpráva 1/2007, 29. 1. 2007.
- [4] ŠENBERGER, J., ZÁDĚRA, A.: Analýza lícní vrstvy formy po odlití ve slévárně DSB EURO, Blansko, průběžná zpráva 2/2007, 2. 4. 2007.